©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Bruchfestigkeit einiger Typen von Fusulinidenschalen

Von Franz Kahler (Klagenfurt)

Mit 5 Textabbildungen

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. Oktober 1951)

Die Entwicklung des Schalenbaus der Fusuliniden reizt zu einer Untersuchung der Festigkeit der einzelnen angewandten Bausysteme. Leider stehen mir aber nur wenige Gattungen, die in meinem Material Schalenbrüche zeigen, zur Verfügung, nämlich *Schwagerina* einschließlich *Rugofusulina* sowie *Pseudoschwagerina*. Hiebei erwies sich eine Probe aus der Haupt-Conocardienschichte des Auernig in den Karnischen Alpen wegen der ungewöhnlich guten Erhaltung der Schalenstrukturen als besonders wertvoll.

Einige Erscheinungen habe ich 1938 und 1942 beschrieben, weshalb ich lediglich auf sie verweise.

Der Schalenbau.

Bei den primitiven Gattungen finden wir einen Schichtenbau, der eine starke oder nachträglich noch verstärkte Wand zeigt. Eine Ausnahme wird unter anderem durch *Quasifusulina* gebildet. Die Windungshöhen erreichen nur ein Normalmaß, die Zahl der Lebensrhythmen ist groß, also auch die Zahl der abstützenden Septen, und die Schale des erwachsenen Tieres ist in der Regel noch klein. Vermutlich sind diese Gattungen sehr bruchfest. Die amerikanischen und russischen Forscher werden sich hiezu äußern können. In den Karnischen Alpen sind diese Gattungen nur in ihren jüngeren Vertretern vorhanden und zugleich recht selten.

Ebenso steht mir von den *Neoschwagerinidae* kein genügend großes Material zur Verfügung. Innerhalb dieser Familie darf besonders bei den *Sumatrininae* ein wertvolles Ergebnis erwartet

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

werden, da z. B. *Sumatrina* eine geradezu geniale Versteifung einer sehr dünnen Wand besitzt.

Die Untersuchung der mittleren Entwicklung, der Gattungen mit dem Wabenwerk ohne weitere Komplikation, ist durch das Vorhandensein zweier Entwicklungstypen interessant.

Die Gattungsgruppe um *Schwagerina* weist normale Windungshöhen auf. Die meist recht starken Septen stützen die Wand des neuen Umganges in kurzen Abständen ab. Die in der Regel bedeutende Septenfältelung verstärkt die Versteifung durch die Septen.

Die Gattungen *Parafusulina* und *Polydiexodina* und die benachbarten, teilweise noch nicht abgetrennten Teile von *Schwagerina* (hiezu auch der interessante Versuch von Thompson, *Pseudofusulina* wieder aufleben zu lassen) benützen die Septenfältelung zu einer besonderen Festigung ihrer länglichen, ja oft überlangen Schalen.

Dagegen zeigen *Pseudo-* und *Paraschwagerina* und einige locker aufgewundene Schwagerinen, ferner einige *Triticites* eine, vom Standpunkt der Schalenfestigkeit gesehen, bedenkliche Verminderung der Fältelung, aber auch der Septenstärke, wobei zugleich Septenlängen und Kammerhöhen steigen. Allerdings vermindert die gleichzeitig eintretende Verkürzung der Hauptachse bis zur Kugelform, die im Extrem zu eingedellten Polen führt, die Möglichkeit von Biegezugsbeanspruchungen. Diese Gattungen streben einem Leichtbau fast unter Opferung der Bruchsicherheit zu. Ich habe aus diesem Grunde auf die Änderung ihres Lebensraumes geschlossen. Es ist aber bemerkenswert, daß die einzelnen Lebensstadien dieser Tiere einen verschiedenen Bau zeigen und das Greisenalter des Tieres wieder zur möglichst bruchsicheren, mäßig hohen und starkwandigen Bauform zurückkehrt.

Die Wand dieser Gattungen ist aus einem Dachblatt gebildet, das in der Regel sehr dünn ist und bei besonders günstiger Erhaltung kleine Poren zeigt. Darunter liegt das wesentlich stärkere Wabenwerk (Keriothek), bestehend aus den Wabenwänden, die die einzelnen Wabenzellen (alveoli von Dunbar-Henbest) begrenzen. Diese werden sehr häufig in den oberen Teilen der Wand vermehrt, und eine noch nicht vollkommen geklärte Verästelung der Wabenwände, die außerdem noch von Querporen durchsetzt werden, schafft eine größere Anzahl von Wabenzellen. Geht man also vom Dachblatt aus, dann liegen darunter zahlreiche, sehr kleine Wabenzellen, deren Wabenwände in einem vieleckigen Maschenwerk eine ausgezeichnete Verstärkung des Dachblattes darstellen. Darunter werden die Waben durch Vereinigung von Wabenwänden größer, wobei diese sich gegen unten zugleich verstärken.

Dieser Bau spart Material, ist relativ sehr fest und gestattet dem Tiere, sein Plasma bis unter das Dachblatt wie in feinsten Pseudopodien vorzustrecken, ja sogar durch das Dachblatt selbst Pseudopodien in das umgebende Wasser zu bilden. Diese werden allerdings kaum zur Nahrungsaufnahme bestimmt gewesen sein, aber sie können die Schwebefähigkeit vergrößert oder zum Anheften gedient haben.

Die Septen werden von einer kräftigen, strukturlosen Masse, der Pyknothek, gebildet. Sie sind von Septenporen durchbrochen, wodurch ihre Festigkeit wesentlich vermindert wird. Wenn sich das Wabenwerk tief an den Septen hinabzieht, ist natürlich ihre Festigkeit vergrößert.

Im Querschnitt erscheinen die Wabenwände als Pfeiler, die sich in der Regel gegen unten verdicken. Kurze Zwischenpfeiler, aber auch Y-Pfeiler verursachen die kleinen Wabenzellen unter dem Dachblatt, ja selbst Tripelpfeiler sind in den vorgeschrittenen Bauformen zu erkennen. Solche Schnittbilder werden, da es sich um die Beschreibung von Schnitten handelt, als „Pfeilerbau" bezeichnet. Die Zeichnungen wurden schematisiert.

Die Hauptöffnung (Mundöffnung, Tunnel) nimmt in den äußeren Umgängen an Breite zu, das heißt, das Septum hängt in ihrem Gebiet frei bis zu einer gewissen Höhe der Windung herab und ist lediglich an den beiden Enden der Öffnung, zumeist verstärkt, mit dem Boden des Umganges verbunden. In den Windungen des jungen Tieres sehen wir als Rest einer früheren Entwicklung die Verstärkung (Medialreifen, Chomata), die besonders bei schmaler Hauptöffnung sehr wertvolle Abstützungen sind. Bei unseren Gattungen beginnen sie in den äußeren Umgängen zu verschwinden, wodurch auch die Begrenzung der Hauptöffnung schwierig wird. In der Familie der *Neoschwagerinidae* sind diese Medialreifen nicht selten vervielfacht.

Betrachtet man die verschiedenen Baupläne, so ist man von ihrer Vielfalt entzückt. Es ist, als hätte ein Baumeister versucht, den Schalenbau in immer neuen Formeln zu lösen, wobei teilweise die Entwicklung bereits klar nachgewiesen ist, was sich am besten in der Aufstellung von Übergangsgattungen kennzeichnet. Teilweise aber sind die Zusammenhänge noch recht wenig bekannt.

Ganz allgemein ist trotz der bedeutenden Vergrößerung der Schalen im Laufe der Entwicklung die Festigkeit der Schale entsprechend gestiegen, und auch die später beschriebenen Brüche entstanden erst unter den Verhältnissen des Todes und der Einbettung, also nicht während der Lebenszeit und im Lebensraum des Tieres. Dies gilt auch für die feingliederigen Pseudoschwage-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

rinen, die später im Sediment so furchtbar zerdrückt wurden. — Eingriffe, die am lebenden Tier erfolgten, sind nur selten zu beobachten, und ich verweise auf meine Beschreibung von 1942.

Wenn wir die Brucherscheinungen an den Schalen toter Tiere studieren, so geben sie uns Hinweise auf die Schwächezonen, aber wir müssen beachten, daß die Schale sehr bald Veränderungen erlitt.

Die Schale des toten Tieres im Sediment.

Wir dürfen annehmen, daß in der Regel nur Schalen toter, ausgewachsener Tiere sedimentiert wurden. Nur an der Oberkante von Kalkbänken kann man in den vermergelten Zonen Schalen aller Altersklassen finden, hier also wurde die ganze Fauna vernichtet. Es war eine Katastrophe, aber sie ist nicht durch die Sandeinbrüche, die darüber nachweisbar sind, erfolgt, sondern vermutlich durch die plötzliche Einfuhr von feinsten Tonteilchen verursacht, die den Sandzuschub ankündigte. Die Einbettung der Schalen erfolgte hier so rasch, daß sie heute im Mergel zu finden sind, der gewöhnlich nicht stark ist und die Kalkbildung beendet.

Hier mag der Todesort sehr nahe dem Begräbnisort gelegen haben, sonst aber ist jener unbekannt und jedenfalls mehr oder weniger von diesem entfernt, vielleicht auch nur auf die Sedimentationsfläche projiziert.

Die Verwesung des toten Tieres scheint vielfach, vielleicht sogar meistens, zur Gasfüllung der Schale geführt zu haben. Es ist jedenfalls interessant, daß die Schalen längere Zeit keinen (mikroskopisch) größeren Schlammteilchen Einlaß gewährten, ja daß in der Regel auch der kolloidale Feinstschlamm kaum eindringen konnte. Dagegen scheint es sehr rasch zum Absatz von Kalkspat gekommen zu sein, der zunächst die Kammerwände tapezierte, um schließlich, gewöhnlich mit gröberem Korn, die Kammern zu erfüllen.

Darin liegt die Ursache, daß in der Regel die Schalen ausgezeichnet erhalten sind: der Kalkspat sproß rascher auf, als der Überlagerungsdruck im Sediment wuchs.

Es ist klar, daß eine mit Kalkspat, vielleicht auch in einzelnen Teilen mit erhärtetem Kolloidschlamm erfüllte Schale nur bei heftiger Einwirkung brach. Verbunden mit dem ebenfalls erhärteten Sediment wurde sie ohne Rücksicht auf ihren Bau zugleich mit dem umgebenden Gestein zerbrochen.

Interessant sind daher nur solche Schalen, die im werdenden Sediment bald nach der Einbettung zerbrachen. Hiezu gehören dann noch jene seltenen bituminösen Gesteine, die eine gewisse Plastizität besitzen oder zumindest länger erhalten haben.

Die Bruchformen.

Die Einbettung in das werdende Sediment entspricht nicht dem Bauplan der Schale. Diese mußte daher, wenn nicht der Kalkspat sehr rasch aufsproßte, ohne Füllung unter der zunehmenden Last zerbrechen. Bei der *Pseudoschwagerina geyeri* haben wir solche vollkommene Zusammenbrüche bereits beschrieben, ebenso beschrieb ich die Erscheinungen, die ich als Spratzwirkung auffaßte. Über einige Beobachtungen ist aber noch zu berichten:

Wurde die Schale zusammengepreßt, so ist öfters zu sehen, daß die Septen eines Umganges im beanspruchten Teil vollkommen zerknickten und sich die obere Wand auf die untere senkte.

Hiebei ergibt sich die unerwartete Tatsache, daß die Wand anscheinend bruchfrei innerhalb eines Abschnittes, der bis zu fünf

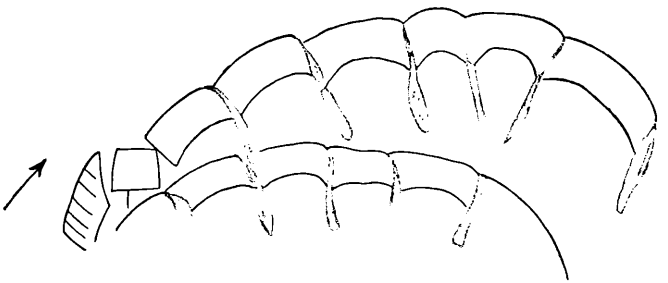

Abb. 1. Bruchfreie Absenkung der Wand auf den vorhergehenden Umgang im Verlauf von fünf Kammern. Die Absenkung erfolgt gegen die Wachstumsrichtung, die durch den Pfeil angedeutet ist. Schliff 13/10 unserer Sammlung.

Kammern des Umganges umfaßt, auf die Kammerwand des früheren Umganges abgesenkt werden konnte. Die Betrachtung ist natürlich auf die Schnittebene beschränkt, und man kann einwenden, daß dies nur eine scheinbare Absenkung ist, weil der Abbruch außerhalb der Schnittebene liege. Dies mag zutreffen, doch dürfte es nicht die Regel sein, denn sonst müßte man öfters solche Bruchstücke beobachten können.

So scheint es mir wahrscheinlicher zu sein, daß in vielen Fällen das Schliffbild real ist, d. h. es kann sich, wenigstens unter günstigen Bedingungen, die Wand eines Umganges auf einer Strecke, die etwa der vierfachen Kammerhöhe entspricht, voll absenken, ohne daß die Wand bricht. Dies wird allerdings durch den großen Radius, den die Wand in den äußeren Umgängen besitzt, erleichtert. Trotzdem müssen im Bereich des Beginnes der Absenkung, der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

einer Knickstelle ähnelt, beträchtliche Biegezugsspannungen aufgetreten sein, denen die Wand — unerwartet — gewachsen war. Diese Wand sollte doch, ihrem Bau entsprechend, eher steif gewesen sein, hätte also bei solchen Beanspruchungen brechen müssen.

Hingegen knicken auch relativ starke Septen rasch. Es hat den Anschein, als wäre die Pyknothek weniger fest gewesen. Allerdings sehen wir in der Regel das Septum nur im Bereich der Hauptöffnung, also ohne Zusammenhang mit dem Boden des Umganges. Die Septenporen tragen wesentlich zum Zusammenbruch bei. Die Brüche verlaufen häufig ihnen entlang.

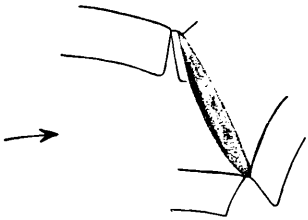

Abb. 2. Das Septum ist vorgeglitten. Im darunterliegenden Umgang bricht die Wand auf. Schliff 13/8 unserer Sammlung.

Das Zerbrechen der Septen wird vom Pseudoschwagerinenstadium durch die ungewöhnlich geringe Stärke und die vorhandenen Septenporen erleichtert.

Wir erhalten hiebei folgende Bilder:

a) Das Septum sinkt mit der Wand so tief, daß es den Boden berührt, entlang diesem vorgleitet, ohne zunächst zu brechen, wobei diese Bewegungen bruchfrei bis zur nächsten Septenfurche des vorhergehenden Umganges gedeihen können.

b) Das Septum bricht knapp unter der Wand, nicht aber in sich und wird schwebend im Kalkspat festgehalten.

c) Das Septum bricht wie bei b), aber auch in den unteren Teilen und wird fast parallel zum Wandverlauf, scheinbar schwebend, gelagert. So wie bei b) kann man annehmen, daß es außerhalb der Schliffebene den Zusammenhang noch gewahrt hat. Trotzdem ist die schwebende Lagerung nicht immer leicht zu verstehen.

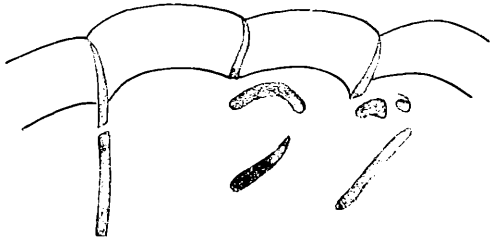

Abb. 3. Das Septum bricht in Form eines „Katzenbuckels". Schliff 13/9 unserer Sammlung.

d) Das Septum bildet eine Knickfalte, einen Katzenbuckel. Der Bruch liegt hiebei knapp unter der Wand, eine Stelle, die, wie man sieht, geringe Bruchfestigkeit hat. Die tieferen Septenteile schnellen nach vorne und brechen vermutlich im Bereich von Poren. Der untere Teil schwebt oder hat noch eine allerdings verschobene Verbindung mit dem Boden. Diese Bruchform ist bei Septen, die bis zum Boden reichen, die außerdem sehr dünn sind und die dem Niederbruch der Wand ausgesetzt sind, zu beobachten. Sie ist als Knickung aufzufassen.

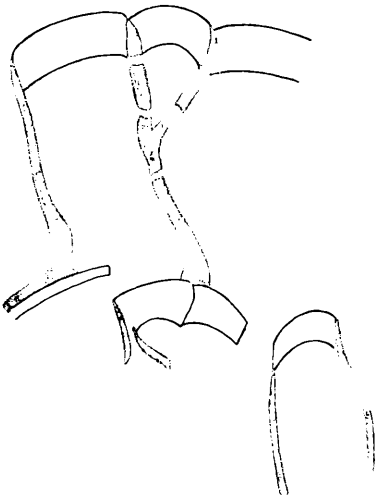

Abb. 4. Die Wand des vorhergehenden Umganges bricht durch, das Septum folgt ihr und reißt vom eigenen Umgang ab, obwohl es ein Doppelseptum ist. Schliff 31/4 unserer Sammlung.

Die Beobachtung von d) führt bereits zu den Brüchen seitlich der Hauptöffnung, die leider infolge der präzisen Schlifflage, die die Präparate von H. Täurer-Gallenstein auszeichnet, von mir nur selten beobachtet werden konnten.

Ist das Septum besonders steif, dann kann es vorkommen, daß nicht das Septum, sondern die darunter befindliche Wand niederbricht. Das mit ihr verbundene Septum des darüberliegenden Umganges, das infolge seiner Punktlast den Abbruch verursachte, bricht nicht in Einzelteile, sondern reißt nur an der allgemeinen Schwächezone, nämlich unter der Wand, von dieser (des jüngeren Umganges) ab, ohne daß man in ihr Risse beobachten kann. Man

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

könnte allerdings daran denken, daß diese so fein waren, daß sie heute unsichtbar sind. Diese Annahme läßt sich aber kaum beweisen, und es ist beim Vergleich aller Beobachtungen wahrscheinlicher, daß die Wand eine beträchtliche Zugspannung ohne Bruch aushielt und daß das Septum seine Lage behielt, als plötzlich durch den Abriß die Spannung aufhörte. Hier könnte man mit der Auffassung einer vollkommen versteiften Schale die Erscheinung erklären: Die Wand wäre danach für diese Beanspruchung hinreichend fest gewesen und das Septum, das an seinem Fußende von der darunterliegenden, nachgebenden, brechenden Wand herabgezogen wurde, brach im gefährdeten Querschnitt.

Es scheint aber doch diese Erklärung für folgende Erscheinungen nicht ausreichend zu sein:

a) Die Wand wird von den Septen abgerissen und wird bauchig aufgewölbt.

Diesen sehr seltenen Fall habe ich 1942 abgebildet. Man erkennt, daß die Schale infolge der starken Aufwölbung etwa in der Mitte einer Kammer einen Riß erhielt, aber, wie ich schon seinerzeit hervorhob, nicht durchriß. Die durch diese Aufwölbung entstandene, notwendig vorauszusetzende Dehnung der Schalenwand ist ungemein schwer zu erklären. Dies gilt mindestens für die Schnittebene. Aus der Art der Pfeilerschnitte kann man erkennen, daß es zu einer wesentlichen Drehung der Wand, wenigstens in der Schnittebene, nicht gekommen ist, so daß auch dieses Schnittbild den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen dürfte.

b) Die Wand wird auf die Länge einiger Kammern aus ihrer Krümmung gebracht und geradegebogen.

Bei solchen Aufbiegungen kommt es zu einem wenigstens scheinbaren Geradebiegen der gewölbten Wand, die ja die Spirale des Umganges bildet. Je größer der Durchmesser des betroffenen Umganges ist, um so mehr Septen können diese Biegung mitmachen, da ja in den äußeren Umgängen der Einrollungsanteil der einzelnen Kammer kleiner wird. Es kann sein, daß dieses Geradebiegen der Wand infolge eines Bruches geschieht, der einen Teil der Wand nach außen treibt, es ist aber auch möglich, daß dieser Bruch infolge eines Heraustreibens der Wand aus der Spirale — in Fortsetzung der Entwicklung von a) — entsteht. Eine kurze Überlegung zeigt, daß infolge der Spirale nur eine recht geringe Anzahl von Kammern die Bewegung zur Tangente mitmachen kann, ohne abzureißen. Das Maximum ist vielleicht gerade in dem in a) geschilderten Fall zu sehen, wo bei etwa doppelter Kammerhöhe der Abriß eben beginnt. Wir sehen somit, daß die versteifte Wand doch eine erstaunliche, bruchfreie Beweglichkeit zeigt.

Die Grenze des Septums, der Pyknothek, gegen die Wand scheint eine beträchtliche Schwächezone zu sein, denn hier reißt die Wand nicht selten. Wäre aber die Biegung auf diese Weise erfolgt, dann müßte man doch ein Klaffen der Wand oder Verschiebungen der einzelnen Kammern beobachten. Gerade letzteres ist aber sicher

nicht der Fall. Das Klaffen könnte sich eher der Beobachtung entziehen. Ich habe es jedenfalls bisher nicht gefunden.

c) Die Wand wird beim Zusammenbruch der Septen niedergebogen.

Dieser Fall ist nicht selten, und ich habe ihn bereits beschrieben, doch hat man nur manchmal einen guten Einblick in den feineren Wandbau.

d) Die Wand knickt nach außen oder innen.

Obwohl die meist allerdings flache Wölbung der Wand zwischen zwei Septenfurchen diese Brucherscheinung hindert, kommt es auf dem Wege über die gewaltsame Geradbiegung der Wölbung zum Knickbruch. Es kann aber auch durch eine Druckwirkung oder eine Punktlast, jeweils von einem Septum kommend, ein solcher Bruch entstehen.

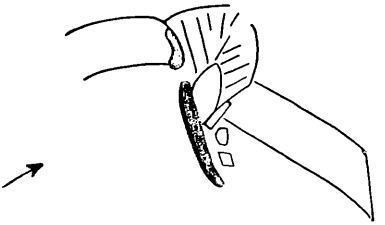

Abb. 5. Eine Kammer wird zusammengepreßt. Schliff 13/8 unserer Sammlung.

Die Ursache der beschränkten Biegsamkeit der Schale.

So finden sich in wenigen Fällen die Anzeichen einer gewissen Biegsamkeit, die sich beim Niedergehen der Schalenwand ergibt.

Es ist gewiß sehr schwierig, diese Eigenschaft der Schale zu erklären. Vielleicht war das Dachblatt kein vollkommen sprödes Bauelement, also keine rein anorganische Schalenhülle, sondern eine Schichte mit viel organischer Substanz. Dafür würde sprechen, daß das Dachblatt so gut wie stets recht dunkel gefärbt ist, also mindestens einen größeren Gehalt an organischer Substanz besaß als die übrigen Bauelemente. Man darf auch nicht vergessen, daß selbst das Wabenwerk eine mehr oder weniger starke Färbung im Schliff zeigt und daß es daher auch eine gewisse Menge organischer Substanz in sich geborgen haben mag.

Ich möchte also glauben, daß die konstruktiv ausgezeichnet versteifte Wand infolge ihres Baustoffes (Dachblatt stark oder ganz aus organischer Substanz gebildet, das Wabenwerk von dieser durchsetzt) biegsam war.

Wenn dies richtig ist, dann hat die Schale bei geringeren Beanspruchungen beschränkt elastisch-biegsam reagiert.

Es ist klar, daß dies ein ungeheurer Vorteil für das Tier gewesen sein mag, besonders bei Formen, die länglich-walzenförmig waren.

Die in den Karnischen Alpen sehr seltene Erscheinung, daß die Schalen vor ihrer Ausfüllung brachen, macht die Beobachtung so schwierig. Denn es durfte sich noch kein Kalkspat gebildet haben, es mußte aber auch die organische Substanz der Schale und möglichst auch noch das Plasma erhalten gewesen sein.

Die Seltenheit der Beobachtungsmöglichkeit macht die Schlüsse unsicher. Aus diesem Grunde lege ich meine Beobachtungen mit der Bitte vor, sie am Material anderer Fundorte zu prüfen.

Zusammenfassung.

Wenn die recht spröden Septen brechen, konnte die Wand in mäßigem Winkel bruchlos niedergehen. Bei Knickungen nach außen und innen scheint die Wand gewisse Biegezugsspannungen zuerst etwas nachgebend aufgenommen zu haben, wobei sie erst bei starker Einwirkung brach.

Es ist daher möglich, daß die konstruktiv stark versteiften Schalen nicht vollkommen starr, sondern doch in beschränktem Maße nachgiebig waren. Trifft dies zu, dann war die Bruchsicherheit der Schale zur Lebenszeit des Tieres hervorragend, weil nur schwere Eingriffe, die im Lebensbereich des Tieres sichtlich selten waren, die Schale zu brechen vermochten.

Die Ursache dieser vermuteten, beschränkten Biegsamkeit wird im organischen Gehalt der Bauelemente, besonders aber des Dachblattes, gesucht.

Literaturverzeichnis.

Es wird auf folgende Zusammenstellungen der Literatur verwiesen:

Dunbar Carl O. und Henbest Lloyd G., 1942: Pennsylvanian Fusulinidae of Illinois. Illinois State Geological Survey, Bull. 67, Urbana.

Thompson, M. L., 1948: Studies of American Fusulinids in Protozoa Art. I, Univ. of Kansas Paleontological Contrib., Topeka.

Hierin sind unsere beiden, für diesen Gegenstand heranzuziehenden Arbeiten noch nicht genannt:

Kahler, Franz, 1942: Beiträge zur Kenntnis der Fusuliniden der Ostalpen. Lebensraum und Lebensweise der Fusuliniden. Palaeontographica **9**, Abt. A, 29 S., 2 Taf., 8 Textabb., Stuttgart.

Kahler, Franz und Gustava, 1938: Beobachtungen an Fusuliniden der Karnischen Alpen. Zentr. Bl. f. Min. 1938, Abt. B, Nr. 4, S. 101—115, 1 Texttafel, Stuttgart.

Die russische Literatur seit 1942 ist mir leider nicht zugänglich.